

Optimalisasi Kenyamanan Termal pada Rumah Tinggal Arsitektur Kontemporer Bali

Siti Ulwiya Hidayatul Muflihah¹, I Putu Weka Wendyputra², Ni Made Yudiantini³, Try Ramadhan⁴

^{1,2,3}Universitas Udayana

⁴Universitas Pendidikan Indonesia

Email: sitiulwiyahm063@unud.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

Abstract: *Architectural design should consider climatic conditions and the comfort of its users, especially in Indonesia where the comfort level of buildings is strongly influenced by the characteristics of the local climate. This also applies to contemporary Balinese architectural design. This research aims to find alternative envelopes as an effort to optimize the thermal comfort of the building. To examine this, this research uses descriptive quantitative methods to analyze, simulate, and evaluate all data and information obtained. Analysis is done by evaluating the state of the object in the field with simulations using ecotect software related to thermal comfort. The simulation results show that the provision of solar reflective paint materials, double brick cavity plaster walls, and double glaze low E-timber frame windows can optimize the thermal comfort of the building.*

Keywords: *Thermal Comfort, Building Envelope, Balinese Contemporary Architecture*

Abstrak: Desain arsitektur harus mempertimbangkan kondisi iklim dan kenyamanan penggunaannya, terutama di Indonesia dimana tingkat kenyamanan bangunan sangat dipengaruhi oleh karakteristik iklim setempat. Hal ini berlaku juga pada desain arsitektur kontemporer Bali. Penelitian ini bertujuan untuk menemukan alternatif selubung sebagai upaya optimalisasi kenyamanan termal bangunan. Untuk mengkaji hal tersebut, penelitian ini menggunakan metode kuantitatif deskriptif untuk menganalisis, mensimulasikan, dan mengevaluasi semua data dan informasi yang didapat. Analisis dilakukan dengan mengevaluasi keadaan objek di lapangan dengan simulasi menggunakan software Ecotect terkait kenyamanan termal. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pemberian material cat reflektif surya, dinding double brick cavity plaster, dan kaca jendela double glaze low-E timber frame dapat mengoptimalkan kenyamanan termal pada bangunan.

Kata Kunci: Kenyamanan Termal, Selubung Bangunan, Arsitektur Kontemporer Bali

Article history:

Received; 2024-12-18

Revised; 2025-01-11

Accepted; 2025-02-27

PENDAHULUAN

Desain arsitektur memiliki keterkaitan yang erat dengan kondisi iklim dan kenyamanan penggunaannya. Hawkes et al (2002) menyatakan dalam Vitruvian Tripartite Model of Environment bahwa fungsi utama arsitektur adalah sebagai mediator antara iklim dan kenyamanan (Zhu dan Wang, 2016). Dalam konteks ini, arsitektur berperan sebagai perantara antara iklim dan kondisi lingkungan yang diinginkan untuk mencapai kenyamanan termal bagi penghuninya. Kenyamanan termal dapat diartikan sebagai keadaan dimana seseorang merasa nyaman dengan lingkungan termalnya, dimana lingkungan tersebut menyebabkan seseorang kehilangan panas tubuh. Kenyamanan termal merupakan salah satu faktor kenyamanan

penghuni dan dapat mempengaruhi keberhasilan fungsi dari bangunan (Pujiyanti et al, 2018). Menurut Olgyay (1963), kenyamanan ini tercapai ketika seseorang merasa nyaman tanpa memerlukan tambahan energi, baik untuk mengubah kondisi yang ada maupun mengeluarkan lebih banyak energi tubuh untuk beradaptasi dengan lingkungan (Ginting, 2022).

Menurut British Standart BS EN ISO 7730/ISO 7730 1994 dan ASHRAE 1989, kenyamanan termal adalah suatu kondisi pikiran yang mencerminkan kepuasan terhadap lingkungan termal (Supriyono, 2018). Faktor psikologis memiliki peran krusial dalam mempengaruhi kenyamanan termal karena adanya keseimbangan antara suhu tubuh manusia dengan suhu lingkungan sekitarnya. Ketidaknyamanan dapat terjadi jika perubahan suhu terjadi secara signifikan sehingga menyebabkan seseorang merasa terlalu panas atau terlalu dingin. Kenyamanan termal tersebut dipengaruhi oleh dua faktor, yaitu faktor lingkungan dan faktor manusia. Menurut ASHRAE/American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (1989), kenyamanan termal dipengaruhi oleh faktor lingkungan meliputi suhu udara (air temperature), kecepatan angin (air velocity), kelembaban udara (relative humidity), dan rata-rata suhu permukaan ruang (Mean Surface Radiant Temperature). Sementara itu, faktor manusia terdiri atas insulasi pakaian yang dikenakan (clothing insulation) dan kecepatan metabolisme (metabolic rate) (Arifah, 2017; Munawaroh & Elbes, 2019). Kedua faktor tersebut juga berlaku di Indonesia, tingkat kenyamanan suatu bangunan sangat bergantung terhadap karakteristik iklimnya. Secara umum, Indonesia memiliki karakteristik iklim tropis lembab dengan kelembaban dapat mencapai 90%. Berdasarkan penelitian Talarosha (2005), suhu di Indonesia bisa mencapai 38°C dengan radiasi matahari yang cukup kuat sehingga mengganggu kenyamanan (Sahabuddin, 2014). Keadaan ini menuntut desain arsitektur untuk memenuhi tingkat kenyamanan yang dibutuhkan.

Salah satu konsep arsitektur Indonesia yang erat kaitannya dengan kenyamanan termal adalah arsitektur kontemporer Bali. Konsep ini memadukan antara arsitektur modern dengan iklim tropis dan aspek tradisional arsitektur Bali. Arsitektur kontemporer dapat diartikan sebagai suatu bentuk atau konsep arsitektur yang terus berkembang seiring dengan perubahan zaman. Ciri khasnya meliputi kebebasan berekspresi, inovasi, dan integrasi dari berbagai aliran arsitektur. Istilah “kontemporer” sering merujuk pada kombinasi antara teknologi konstruksi modern dengan bentuk bangunan yang disesuaikan dengan iklim tropis dan aspek lokal di Indonesia. Dari definisi tersebut, dapat disimpulkan bahwa arsitektur kontemporer Bali merupakan bentuk arsitektur yang tumbuh, berkembang dan dipertahankan di Bali, mencerminkan sejarah, ruang, dan waktu, dan secara singkat dapat dikatakan sebagai arsitektur Bali (Susanta, 2017). Konsep ini menampilkan karakteristik Bali dalam setiap desainnya sekaligus mengikuti kemajuan ilmu dan teknologi masa kini tanpa meninggalkan identitas Bali dengan melibatkan pemanfaatan sumber daya alam sekitarnya. Hal ini memungkinkan arsitektur kontemporer Bali untuk menjaga keseimbangan antara kenyamanan termal dan identitas lokal.

Meskipun arsitektur kontemporer Bali berpotensi menciptakan kenyamanan termal yang optimal, namun untuk mendapatkan tingkat

kenyamanan tersebut sulit untuk dicapai. Tingkat kenyamanan termal ini sulit dicapai dikarenakan pada pemilihan material selubung yang kurang mampu mengoptimalkan kenyamanan termal. Selubung bangunan merupakan elemen bangunan yang meliputi dinding dan atap untuk menyelubungi seluruh bangunan. Dalam penelitian Sabtalista (2019), disebutkan bahwa jenis material berpengaruh besar terhadap suhu bangunan. Selain itu, Izzah (2017) menyatakan dalam hasil simulasi dengan software ecotect menunjukkan bahwa terdapat pengaruh material dinding terhadap kenyamanan ruang. Berdasarkan beberapa penelitian tersebut, maka dapat diambil solusi untuk mendapatkan material selubung yang tepat dalam upaya meningkatkan kenyamanan termal pada bangunan, diperlukan simulasi desain yang dilakukan dengan software arsitektur salah satunya dengan software ecotect. Pada penelitian ini akan disimulasikan seluruh selubung bangunan yang meliputi atap, dinding, dan bukaan. Objek penelitian yang digunakan adalah sebuah bangunan rumah tinggal dengan konsep Arsitektur Kontemporer Bali di daerah Monang-Maning, Denpasar, Bali.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode deskriptif dan evaluatif. Menurut Kasiram (2008), pendekatan kuantitatif merupakan cara untuk mendapatkan informasi dengan menggunakan data berupa angka sebagai alat analisis untuk mengidentifikasi informasi yang dibutuhkan (Abdullah, 2023). Metode deskriptif berfungsi untuk memecahkan masalah dengan menggambarkan kondisi objek penelitian berdasarkan fakta-fakta yang ada. Sedangkan metode evaluatif memerlukan adanya kriteria, tolak ukur, atau standar sebagai acuan untuk membandingkan data yang telah dianalisis, sehingga dapat merepresentasikan secara akurat kondisi objek yang diteliti (Nurazizah & Wibawa, 2020).

Pada penelitian ini, diperlukan dua sumber data yaitu data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui pengamatan langsung pada objek, dalam hal ini dilakukan pengukuran terhadap objek menggunakan roll meter untuk menentukan dimensi (panjang, lebar, tinggi) objek yang akan digunakan dalam simulasi. Selain itu, dimensi bukaan seperti jendela, pintu, dan ventilasi juga diukur besaran dan posisi penempatannya. Selain pengukuran, dilakukan juga analisis material yang akan dimasukkan dalam aplikasi *Ecotect*, mencakup material lantai, dinding, plafon, jendela, pintu, dan ventilasi. Data sekunder didapatkan melalui referensi berupa jurnal, buku, artikel, dan informasi penunjang yang berkaitan dengan penelitian.

Data primer ini menjadi dasar dalam melakukan pengukuran kenyamanan termal menggunakan aplikasi *Ecotect*. Aplikasi *Ecotect* merupakan salah satu software arsitektur yang dapat digunakan untuk simulasi terkait kenyamanan termal (Zulfiana *et al*, 2020). Simulasi diawali dengan pemodelan objek di aplikasi *Sketchup*. Selanjutnya file 3D di *export* menjadi OBJ agar dapat dibaca pada *software Autodesk Ecotect*. Pada *software Ecotect* dilakukan simulasi terkait kenyamanan termal dan alternatif selubung bangunan. Pada simulasi akan diperoleh nilai *Mean Radian Temperature* (MRT), *Predicted Mean Vote* (PMV), dan *Percent Dissatisfaction* (PPD). Analisis *Mean Radian Temperature* (MRT) dapat didefinisikan sebagai dampak panas dari radiasi yang dihasilkan oleh

seluruh permukaan material. Hasil simulasi MRT pada *ecotect* ditampilkan dalam bentuk kontur warna yang menunjukkan tingkat suhu di setiap titik dalam suatu ruangan. Berdasarkan SNI 03-6572-2001 (Arinta *et al.*, 2022; Munawaroh & Elbes, 2019), terdapat tiga kategori utama kriteria kenyamanan yaitu (1) sejuk nyaman, dimana suhu efektif mencapai 20,5°C - 22,8°C, (2) nyaman optimal, suhu efektif bervariasi antara 22,8°C hingga 25,8°C. Dan (3) hangat nyaman, ukuran temperatur efektif 25,8°C - 27,1°C. Jika rata-rata kondisi termal melewati klasifikasi tersebut, maka dapat dikatakan kondisi tersebut tidak nyaman.

Analisis *Predicted Mean Vote* (PMV) merupakan skala termal yang menunjukkan rentang sangat dingin (-3) ke panas (3), dikembangkan oleh Fanger dan kemudian digunakan sebagai standar ISO (Izzah *et al.*, 2017). Sementara itu, analisis *Precent Dissatification* (PPD) berfungsi untuk memprediksi presentase penghuni yang merasa puas dengan kondisi termal (Widyasari *et al.*, 2022). Semakin tinggi presentase PPD maka semakin banyak yang tidak puas terhadap kondisi termal lingkungannya (Susanti & Zetli, 2016). Analisis PDD termasuk penting karena dapat mengukur kondisi nyaman suatu individu terhadap lingkungannya, dimana kenyamanan termal ini tidak hanya bergantung pada suhu udara ruangan (Zahran *et al.*, 2023).

Tabel 1. Parameter Tingkat Kenyamanan Termal Standar ASHRAE

Tabel	Sensasi Termal	PPD (100%)
+3	Hot	100
+2	Warm	75
+1	Slightly Warm	25
0	Neutral	5
-1	Slightly Cool	25
-2	Cool	75
-3	Cold	100

Sumber: Sumaryata *et al.*, 2019; Pamungkas & Suryabrata, 2020

Dari hasil simulasi ini kemudian dievaluasi dengan standar kenyamanan termal yang ada. Selanjutnya, akan dilakukan simulasi-simulasi untuk menemukan alternatif selubung bangunan. Pada simulasi ini, selubung bangunan atap diganti dengan material cat reflektif surya, bagian dinding diganti dengan material *double brick cavity plaster*, dan peredaman bukaan dengan mengganti material kaca jendela *double glazed low E-timber frame*. Simulasi terakhir yang digunakan adalah dengan menggabungkan seluruh simulasi, hal ini dilakukan dengan menggantikan seluruh material selubung bangunan.

Tabel 2. Simulasi-Simulasi Selubung Bangunan Objek Penelitian

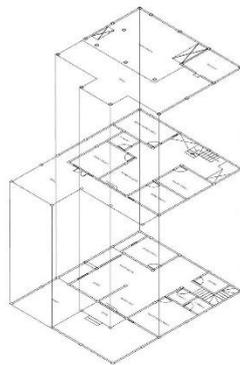
Elemen	Eksisting	Simulasi 1	Simulasi 2	Simulasi 3	Simulasi 4
Atap	<i>Clay Tiled Roof</i>	Cat reflektif surya	Sama dengan eksisting	Sama dengan eksisting	Cat reflektif surya
Dinding	<i>Brick Plaster</i>	Sama dengan eksisting	Double Brick Cavity Plaster	Sama dengan eksisting	Double Brick Cavity Plaster

Elemen	Eksisting	Simulasi 1	Simulasi 2	Simulasi 3	Simulasi 4
Jendela	<i>Single Glazed Aluminium Frame</i>	Sama dengan eksisting	Sama dengan eksisting	<i>Double Glazed Low E-Timber Frame</i>	<i>Double Glazed Low E-Timber Frame</i>

Sumber: Analisis Penulis, 2023

HASIL DAN PEMBAHASAN

Objek penelitian berada di Jalan Gunung Ringin IV, Tegal Harum, Monang Maning, Kec. Denpasar Barat, Kota Denpasar Bali. Objek merupakan sebuah rumah tinggal dengan luas bangunan 126m² dan luas tanah 196 m² terdiri atas 3 lantai. Lantai 1 terdiri atas ruang tamu, dapur, ruang makan, 2 ruang tidur, 2 kamar mandi dan gudang. Pada lantai 2 dijadikan sebagai area privat yakni sebagai ruang keluarga, 4 ruang tidur, dan 1 kamar mandi. Sedangkan pada lantai 3 dijadikan sebagai ruang santai dan tempat ibadah agama hindu (sanghah). Rumah ini berorientasi ke arah Selatan dengan posisi berdempetan dengan rumah sekitarnya baik di bagian barat, timur, dan Selatan. Selubung bangunan ini memiliki selubung pada umumnya berupa dinding plesteran batu bata (*brick plaster*), atap genteng dari keramik, jendela kaca dengan bukaan dibagian depan dan barat bangunan, pintu dibagian depan, dan langit-langit yang terbuat dari *gypsum*. Denah lantai bangunan dapat dilihat pada Gambar 1.



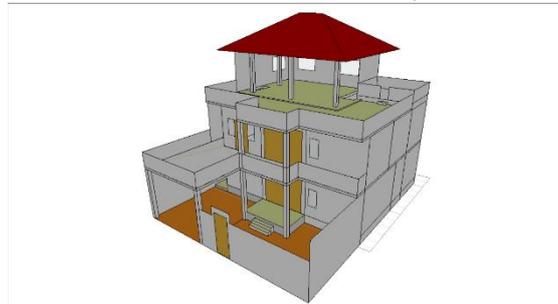
Gambar 1. Denah Aksonometri Bangunan

Sumber: Analisis Penulis, 2023

Secara khusus, penelitian ini menggunakan simulasi pada aplikasi *Ecotect Analysis 2011* dan ditunjang dengan penggunaan aplikasi *sketchup 2022*. Hal pertama yang dilakukan adalah membuat *modelling* studi kasus berdasarkan data hasil pengukuran di lapangan dengan menggunakan aplikasi *sketchup*, dapat dilihat pada Gambar 2. Rumah disimulasikan berdiri menghadap Selatan sesuai kondisi eksisting dan berdiri sendiri (tidak berbatasan dengan bangunan lainnya). Tahap selanjutnya adalah dengan meng-*import* file *modelling* bangunan pada *sketchup 2022* ke aplikasi *Ecotect Analysis 2011*, terlihat pada Gambar 3.



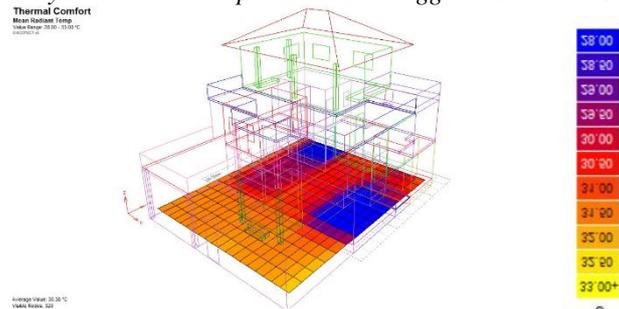
Gambar 2. Perspektif 3D Bangunan
Sumber: Analisis Penulis, 2023



Gambar 3. Visualisasi *Modelling* dengan *Ecotect*
Sumber: Analisis Penulis, 2023

Pada simulasi *software Ecotect* berdasarkan data di lapangan, dapat dilihat bahwa hasil simulasi menunjukkan nilai Mean Radian Temperature (MRT) yang didapat pada lantai 1 adalah 30.38°C (lantai 1), 29.88°C (lantai 2), dan 31.07°C (lantai 3). Hal ini menunjukkan bahwa temperatur udara tertinggi terdapat di lantai 3, dikarenakan merupakan ruang yang sangat terbuka, dan lantai paling banyak terpengaruh langsung oleh sinar matahari. Pada lantai 1, temperatur udara termasuk tinggi dikarenakan pada lantai ini terdapat sedikit bukaan dari luar sehingga tidak banyak udara yang masuk untuk menurunkan suhu udara di dalam ruangan. Ruangan yang memiliki suhu paling tinggi adalah ruang tamu (suhu tertinggi mencapai 31.4°C) dan dapur (30.7°C), terlihat pada Gambar 4. ruang tamu dapur didominasi oleh warna merah. Hal ini dikarenakan ruang tamu berada di tengah bangunan dan hanya memiliki satu bukaan yang terhubung langsung dengan ruang luar yakni pintu utama. Untuk ruang dapur, dikarenakan ruangan ini berada dekat dengan garasi sehingga sirkulasi udara terhalang oleh dak beton, ditambah dengan penggunaan bukaan yang tidak menerapkan *cross ventilation*.

“Optimalisasi Kenyamanan Termal pada Rumah Tinggal Arsitektur Kontemporer Bali”



Gambar 4. Nilai MRT Lantai 1

Sumber: Analisis Penulis Menggunakan Ecotect Analysis 2011, 2023

Simulasi ini juga menghasilkan nilai *Predicted Mean Vote* (PMV) adalah 1.84 (lantai 1), 1.87 (lantai 2), 2.28 (lantai 3). Ketiga nilai ini menunjukkan bahwa sensasi yang dirasakan oleh penghuni, dimana area terpanas berada di lantai 3. Berdasarkan skala termal Fanger, lantai 1 dan lantai 2 termasuk dalam kategori *slightly warm* dan lantai 3 termasuk *warm*. Hasil uji Percent Dissatisfaction (PPD) adalah 66.91% pada lantai yang berarti penghuni yang merasakan tidak kepuasan kenyamanan termal sebanyak 66.91% dari total penghuni yang ada. Untuk lantai 2 dan 3 hasil PPD adalah 67.69% dan 84.67%. Nilai MRT, PMV, dan PPD dapat dilihat pada Tabel 3. Hasil dari analisa simulasi tersebut menunjukkan bahwa rumah ini belum memenuhi standar pencapaian kenyamanan termal sehingga diperlukan upaya optimalisasi kenyamanan termal yang dapat dilakukan dengan simulasi-simulasi berikut.

Tabel 3. Rekapitulasi Hasil Simulasi *Ecotect* Berdasarkan Data Lapangan

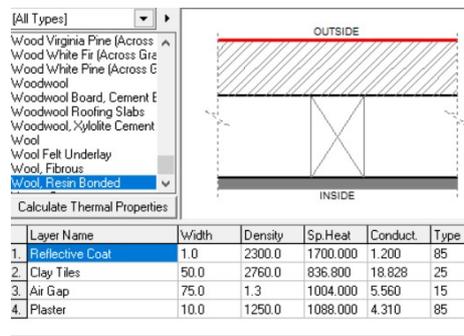
Nilai	Lantai 1	Lantai 2	Lantai 3
MRT (°C)	30,38	29,88	31,07
PMV	1,84	1,87	2,28
PPD (%)	66,91	67,69	84,67

Sumber: Analisis Penulis, 2023

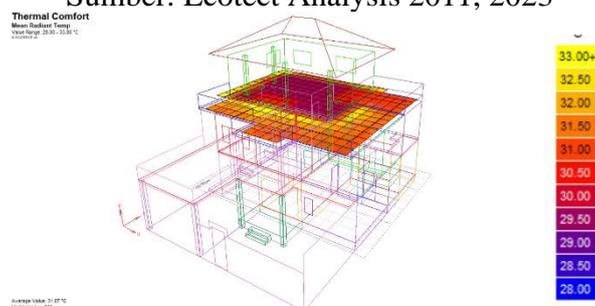
Simulasi Material Atap dengan Material Cat Reflektif Surya

Cat reflektif surya merupakan material yang dapat merefleksifkan radiasi matahari terkena langsung pada selubung bangunan sehingga panas yang diserap akan semakin sedikit. Semakin sedikit kalor yang diserap, maka makin rendah temperatur bangunan. Material yang fokus pada arah pemantulan radiasi matahari sehingga dapat memberikan kenyamanan termal yang lebih optimal pada bangunan. Cat reflektif ini memiliki ketebalan sebesar 0.1mm, lebih jelasnya terlihat pada Gambar 5., dengan ketebalan ini sudah mampu merefleksifkan sinar matahari. Dari simulasi material atap ini didapatkan bahwa material ini lebih banyak mempengaruhi lantai 3 yang dekat dengan atap bangunan. Terlihat bahwa temperatur suhu menurun dari 31,07°C menjadi 30.46°C. Nilai temperatur ini menurun sejalan dengan perubahan warna temperatur lantai menurun

“Optimalisasi Kenyamanan Termal pada Rumah Tinggal Arsitektur Kontemporer Bali” (warna biru), hal ini dapat dilihat pada Gambar 6. Tidak menunjukkan warna biru, sedangkan setelah penggantian material hasil simulasi berubah menjadi terdapat beberapa titik yang berwarna biru (Gambar 7.), menunjukkan adanya perubahan kenyamanan termal. Secara detail hasil MRT, PMV, dan PDD hasil simulasi material atap dapat dilihat pada Tabel 4.

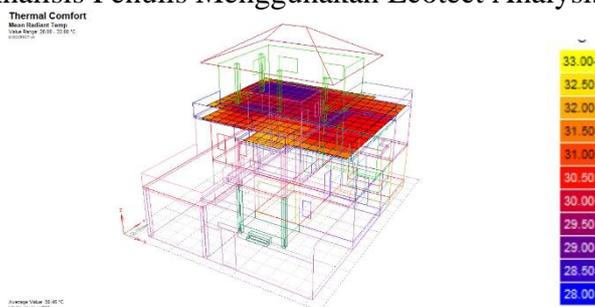


Gambar 5. Potongan Atap Cat Reflektif Surya
Sumber: Ecotect Analysis 2011, 2023



Gambar 6. MRT Eksisting Lantai 3

Sumber: Analisis Penulis Menggunakan Ecotect Analysis 2011, 2023



Gambar 7. MRT Cat Reflektif Surya Lantai 3

Sumber: Analisis Penulis Menggunakan Ecotect Analysis 2011, 2023

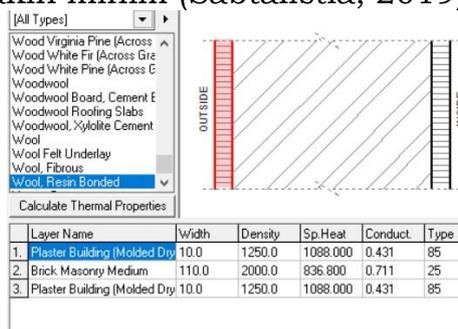
Tabel 4. Rekapitulasi Hasil Simulasi *Ecotect* Material Cat Reflektif Surya

Nilai	Lantai 1	Lantai 2	Lantai 3
MRT (°C)	30,43	30,04	30,46
PMV	2,07	1,91	2,13
PPD (%)	76,31	68,88	81,24

Sumber: Analisis Penulis, 2023

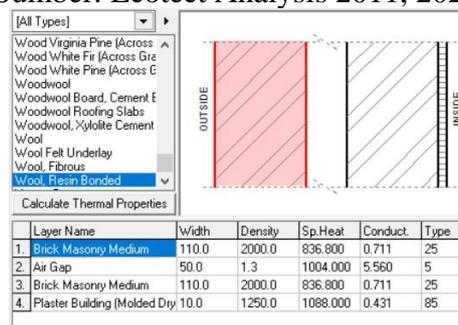
Simulasi Material Dinding dengan Material Double Brick Cavity Plaster

Salah satu faktor yang mempengaruhi kenyamanan termal adalah jenis material (Alfiah et al, 2023). Dengan memilih material yang tepat dapat membantu menyesuaikan suhu bangunan agar lebih sesuai dengan kenyamanan termal yang diharapkan (Ramadhan et al, 2021). Pada penelitian ini material dinding asli (*brick plaster*) disimulasikan menggunakan *double brick cavity plaster*. *Double brick cavity plaster* merupakan material dinding yang terdiri atas 2 lapisan batu bata yang dipisahkan oleh rongga udara ditengahnya. Rongga udara ini memiliki ukuran sebesar 5 cm terlihat pada Gambar 9. Adanya rongga udara ini dapat mengurangi penetrasi panas yang masuk ke dalam struktur bangunan. Untuk dinding *double brick plaster* memiliki ketebalan hampir dua kali lipat dari dinding *brick plaster* biasa. Dinding *brick plaster* memiliki ketebalan 13 cm terlihat pada Gambar 8, sementara dinding *double brick plaster* memiliki ketebalan 23 cm (Gambar 9). Dikarenakan dinding *double brick plaster* memiliki ketebalanan yang lebih tebal dibandingkan dinding *brick plaster* biasa membuat *solar heat gain* dinding *double brick plaster* lebih rendah. Dapat dikatakan bahwa semakin tebal suatu bahan maka semakin efisiensi bahan tersebut dalam mendinginkan bangunan karena penyerapan *solar heat gain* menjadi semakin minim (Sabtalistia, 2019).



Gambar 8. Potongan Dinding Brick Plaster

Sumber: Ecotect Analysis 2011, 2023



Gambar 9. Potongan Dinding Double Brick Cavity Plaster

Sumber: Ecotect Analysis 2011, 2023

Berdasarkan simulasi penggantian material dinding menjadi material *Double Brick Cavity Plaster* didapatkan bahwa terdapat perbedaan yang terlihat dari nilai MRT yang turun di setiap lantai yakni sebesar 1.03°C (lantai 1), 0.54°C (lantai 2), dan 0.31 °C (lantai 3). Untuk nilai PMV bangunan juga mengalami penurunan sebesar 0.2 menjadi 1.82 PMV pada lantai 1. Sedangkan pada lantai 2 dan 3, PMV bangunan adalah 1.75 dan 2.17, menurun dari PMV sebelumnya yakni 1.87

“Optimalisasi Kenyamanan Termal pada Rumah Tinggal Arsitektur Kontemporer Bali”

dan 2.28. Hasil ketidakpuasan penghuni juga mengalami penurunan menjadi 67,15% (lantai 1), 63,24% (lantai 2), dan 80,61% (lantai 3). Hasil simulasi ini membuktikan bahwa, material dinding *double brick cavity plaster* mampu mengoptimalkan kenyamanan termal bangunan. Secara lebih jelasnya hasil MRT, PMV, dan PDD hasil simulasi material dinding dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Rekapitulasi Hasil Simulasi *Ecotect* Dinding *Double Brick Cavity Plaster*

Nilai	Lantai 1	Lantai 2	Lantai 3
MRT (°C)	29,35	29,34	30,76
PMV	1,82	1,75	2,17
PPD (%)	67,15	63,24	80,61

Sumber: Analisis Penulis, 2023

Simulasi Rekayasa Bukaannya

Menurut SNI 03-6572-2001,2001, bukaan ventilasi alami terdiri atas jendela, pintu, bukaan permanen, atau elemen lain yang bisa dibuka (Winardo & Wimala, 2023). Luas bukaan ventilasi di setiap ruangan sebaiknya memenuhi 10% dari luas lantai. Bukaan menjadi faktor utama yang mempengaruhi sirkulasi udara dan suhu dalam bangunan sehingga berdampak pada kenyamanan termal bangunan (Rahmat et al, 2020). Pada simulasi ini fokus bukaan terhadap jendela bangunan. Simulasi rekayasa bukaan yang dilakukan adalah dengan mengganti material kaca jendela menjadi *double glazed low E-timber frame* yang semula berupa *single glazed timber*. Penggantian material ini dilakukan karena kaca ini memiliki rongga udara sebesar 3 cm, sehingga dapat menghambat panas yang masuk ke dalam bangunan. Ditambah dengan lapisan *low E* yang dapat menangkalkan panas matahari sehingga tidak masuk, namun cahaya matahari dapat masuk untuk memenuhi penerangan. Hal ini dibuktikan pada simulasi rekayasa bukaan ini, nilai MRT mengalami penurunan sebesar 0.06°C (lantai 1), 0.09°C (lantai 2), dan 0.03°C (lantai 3). Walaupun nilai ini hanya mengalami sedikit penurunan, tapi dapat membuktikan bahwa material ini lebih optimal kenyamanannya dibandingkan material lapisan *single glazed timber*. Hasil simulasi MRT, PMV, dan PDD hasil simulasi material jendela, lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Rekapitulasi Hasil Simulasi *Ecotect* Material Jendela *Double Glazed Low E-Timber Frame*

Nilai	Lantai 1	Lantai 2	Lantai 3
MRT (°C)	30,32	29,79	31,04
PMV	1,78	1,81	2,25
PPD (%)	70,05	67,66	84,34

Sumber: Analisis Penulis, 2023

Simulasi Gabungan Seluruh Elemen Selubung Bangunan

Simulasi gabungan dilakukan untuk melihat seberapa efektif optimalisasi kenyamanan termal dengan mengganti beberapa alternatif material selubung bangunan. Dari hasil simulasi ini didapat bahwa Nilai MRT semua lapisan merata di tingkat 29°C dan nilai PMV berada di skala termal *slightly warm* (+1) pada setiap lantai (Tabel 7.). Sedangkan terkait ketidakpuasan penghuni, tidak terdapat perbedaan signifikan disetiap lantai yang terlihat dari ketidakpuasan tertinggi ada di lantai 1 yakni 70.59% dan terendah di lantai 2 yakni 63.60% (Tabel 7.). Hal ini membuktikan bahwa, optimalisasi kenyamanan termal secara merata dapat dilakukan dengan menggabungkan seluruh alternatif elemen selubung bangunan.

Tabel 7. Rekapitulasi Hasil Simulasi *Ecotect* Berdasarkan Data Lapangan

Nilai	Lantai 1	Lantai 2	Lantai 3
MRT (°C)	29.95	29.41	29.58
PMV	1.90	1.76	1.85
PPD (%)	70.59	63.60	68.79

Sumber: Analisis Penulis, 2023

SIMPULAN DAN SARAN

Kenyamanan termal mencerminkan perasaan nyaman manusia dengan lingkungan termal di dalam bangunan. Untuk menciptakan kenyamanan termal diperlukan perhatian terhadap desain arsitektur dan karakteristik iklim. Perpaduan arsitektur dan iklim digunakan pada konsep arsitektur kontemporer Bali. Namun tingkat kenyamanan termal sulit untuk dicapai karena kurangnya perhatian terhadap pemilihan material khususnya material selubung bangunan. Untuk itu diperlukan upaya optimalisasi kenyamanan termal pada bangunan dengan memilih material selubung yang tepat. Upaya ini dapat dilakukan dengan simulasi material selubung bangunan menggunakan software *Ecotect Analysis 2011*.

Berdasarkan simulasi data hasil pengukuran, objek penelitian belum dapat memenuhi kenyamanan termal yang ditetapkan SNI. Dengan dilakukannya simulasi penggantian alternatif selubung bangunan berupa atap, dinding, dan jendela, didapatkan bahwa objek penelitian mengalami optimalisasi kenyamanan termal. Hal ini dibuktikan pada penggantian material atap dengan cat reflektif surya menghasilkan penurunan MRT (Mean Radian Temperature) sebesar 0.61°C pada lantai 3. Untuk material dinding diganti dengan dinding double brick cavity. Sedangkan pada masing-masing simulasi dinding double brick cavity dan rekayasa bukaan berupa jendela dengan material double glazed low E-timber frame didapatkan penurunan MRT di setiap lantai.

Simulasi terakhir yang dilakukan adalah dengan menggabungkan seluruh simulasi, di dapatkan bahwa kenyamanan termal menjadi lebih optimal. Ditandai dengan adanya penurunan suhu secara merata pada setiap lantai bangunan. Dari semua simulasi yang telah dilakukan, simulasi yang paling berpengaruh terhadap optimalisasi kenyamanan termal adalah simulasi penggantian material dinding dan simulasi gabungan. Hal ini membuktikan bahwa terdapat pengaruh penggunaan material selubung terhadap kenyamanan termal suatu bangunan, hal ini dapat membantu dalam pertimbangan upaya optimalisasi kenyamanan termal suatu bangunan.

DAFTAR RUJUKAN

- Abdullah, K., Jannah, M., Aiman, U., Hasda, S., Fadilla, Z., Taqwin, Masita, Ardiawan, K. N. & Sari, M. E. (2023). *Metodologi Penelitian Kuantitatif. Aceh : Yayan Penerbit Muhammad Zaini*
- Alfiah, P., Puspitasari, P., & Poernomo, E. I. (2023). 'The Effect of Height and Building Orientation on Thermal Comfort Sensation using PMV and Anova.'
- Arifah, A. B., Satya Adhitama, M., & Nugroho, A. M. (2017). 'Pengaruh Bukaannya Terhadap Kenyamanan Termal Pada Ruang Hunian Rumah Susun Aparna Surabaya.' Doctoral Dissertation, Brawijaya University
- Arinta, R. T., & Hapsari, R. N. (2022). 'Kondisi Kenyamanan Thermal Pada Desain Bangunan Perumahan Bukit Violan Jaya Semarang.' *Jurnal Arsitektur ARCADE*, pp. 271-275
- Ginting, Sola G. & Novrial. (2022) 'Material dan Bentuk Atap Terhadap Kenyamanan Termal dalam Bangunan Rumah Tinggal', *TALENTA Conference Series: Energy & Engineering*, No. 5 : pp. 250-257. Available at: <https://doi.org/10.32734/ee.v5i1.1471>
- Izzah, M., Siswanto, B., & Habsya, C. (2017). 'Analisis Kenyamanan Termal Material Selubung Bangunan Ruang Laboratorium Komputer Smk Negeri 2 Surakarta Menggunakan Autodesk Ecotect Analysis.'
- Munawaroh, A.S., & Elbes, R. (2019). 'Persepsi Pengguna Terhadap Kenyamanan Termal Pada Bangunan Perpustakaan Ibi Darmajaya Lampung.' *Jurnal Arsitektur dan Perencanaan (JUARA) 2(2)*, pp. 138-157
- Nurazizah, S., & Wibawa, B. A. (2020). 'Analisis Kenyamanan Termal Ruang Dosen Menggunakan CBE Thermal Comfort.' Seminar Nasional Hasil Penelitian (SNHP) Universitas PGRI Semarang
- Pamungkas, L.S., & Suryabrata, J. A. (2020). 'Pengkondisian Termal Pada Bangunan Sekolah Di Indonesia.' *Jurnal Arsitektur dan Perencanaan (JUARA) 3(2)*, pp. 81-96
- Pujiyanti, I., Fitria, T.A., & Darmawan, I. (2018). 'Alternatif Teknik Passive Cooling yang Efisien Pada Ruang Auditorium Gedung B Universitas 'Aisyiyah Yogyakarta.' *Jurnal Arsitektur dan Perencanaan (JUARA) 1(1)*, pp. 43-57
- Rahmat, A., Cahyanudin, I., & Ramadhan, T. (2020). 'Pengaruh Bukaannya Pada Ruang Rumah Tinggal Type 70 Terhadap Kenyamanan Termal.' *Jurnal*

- Ilmiah Arsitektur, 10(2), pp. 35–45. Available at: <https://ojs.unsiq.ac.id/index.php/jiars>
- Ramadhan, D., Adifa, A. M., & Ramadhan, T. (2021). ‘Thermal Comfort in East Campus Center of ITB Bandung.’ IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 738(1). Available at: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/738/1/012006>
- Sabtalistia, Y. A. (2019). ‘Penghematan Energi dengan Optimalisasi Material Dinding dan Kaca Jendela pada Rumah Sederhana.’ PAWON: Jurnal Arsitektur 3(2), pp. 115-124
- Sahabuddin., Hamzah, B. & Ihsan. (2014). ‘Pengaliran Udara Untuk Kenyamanan Termal Ruang Kelas Dengan Metode Simulasi Computational Fluid Dynamics’, Jurnal Sinektika 14(2), pp. 209-216.
- Sumaryata, M. A., Afriesta, C. L. B., & Koerniawan, M. D. (2019). ‘Kenyamanan Termal Pada Koridor Kampus Institut Teknologi Bandung Dengan Analisis Rayman.’ Jurnal Lingkungan Binaan Indonesia, 8(3), 118–125. Available at: <https://doi.org/10.32315/jlbi.8.2.95>
- Supriyono., Rejeki, VG. S., Ardiyanto. A., & Hapsari. (2018). ‘Kenyamanan Termal Rumah Tinggal Vernakular Di Wilayah Gunung; Stdi Kasus Dusun Kabelukan, Desa Candi Yasan, Kecamatan Kertek, Kabupaten Wonosobo, Jawa Tengah.’ Jurnal Tesa Arsitektur 16(1), pp. 49-61
- Susanta, I. N. (2017). ‘Makna Dan Konsep Arsitektur Tradisional Bali Dan Aplikasinya Dalam Arsitektur Bali Masa Kini.’ SPACE 4(2), pp. 199-212
- Susanti, L., & Zetli, S. (2016). ‘Penyusunan Kriteria Rumah Tinggal Berkonsep Ergo-Ekologi Dalam Upaya Peningkatan Kenyamanan Termal Penghuni.’ Jurnal Optimasi Sistem Industri 15(2), pp. 155-170
- Widyasari, C., Santoso, R. B., & Rizka Tri Arinta. (2022). ‘Pengaruh Penerapan Timber Clad Masonry Terhadap Kenyamanan Termal Pada Ruang Tamu Tempat Tinggal Tropis Menggunakan Software Ecotect.’ SARGA: Journal of Architecture and Urbanism, 16(1), pp. 31–37. Available at: <https://doi.org/10.56444/sarga.v16i1.143>
- Winardo, K. & Wimala, M. (2023). ‘Kajian Kebutuhan Ventilasi Alami Ruangan Pada Bangunan Gedung.’ Jurnal Rekayasa Sipil 17(2), pp. 122-129
- Zahran, N. L., Salsabila, K., Ramadhan, T., Maknun, J. (2023). ‘Analisis Kenyamanan Termal Bangunan Masjid Sma Di Kota Bandung (Thermal Comfort Analysis of High School Mosque Building in Bandung City).’ Jurnal Tesa Arsitektur 21(1), pp. 60-71
- Zhu, W., & Wang, Z. (2016). Bioclimatic Design Approach Integration into Architectural Design: a Library Case Study. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/309266173>
- Zulfiana, I. S., Sampe, I. S., Bahagia, C., Sains, U., & Jayapura, T. (2020). ‘Analisis Kenyamanan Termal Ruang Kelas Di Universitas Sains Dan Teknologi Jayapura Dengan Menggunakan Ecotect.’ Jurnal Teknologi Terpadu 8(2), pp. 114-118